

## MODELING AND OPTIMIZATION OF THE MILK FERMENTATION PROCESS USING Mg Al-CO<sub>3</sub> HYDROTALCITE BY FACTORIAL ANALYSIS♦

## MODELISATION ET OPTIMISATION DE PROCESSUS DE FERMENTATION DE LAIT UTILISANT Mg Al-CO<sub>3</sub> D'HYDROTALCITE PAR ANALYSE FACTORIELLE

Alisa Vasilica Aruş<sup>1\*</sup>, Gheorghita Jinescu<sup>2</sup>,  
Ileana Denisa Nistor<sup>1</sup>, Alina – Violeta Ursu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Université de Bacău; Faculté d'Ingénierie ; Département  
d'Ingénierie Chimique et Alimentaire; 157 Calea Mărăşeşti,  
Bacău-600115, Roumanie;*

<sup>2</sup>*Université « Politehnica » Bucarest; Faculté de Chimie Appliquée et  
Science des Matériaux ; 1-7 Polizu, Bucarest-011061, Roumanie;*

\*Corresponding author: [arusalisa@yahoo.com](mailto:arusalisa@yahoo.com)

Received: 12/02/2008

Accepted after revision: 26/03/2008

**Abstract:** In this research work the main objective was studying the use of k<sup>n</sup> type factorial programs for modeling and optimization of the milk fermentation process in the presence of hydrotalcite. The milk fermentation is considered the principal phase in yoghurt technology. The yoghurt is a product resulted from the fermentation of the lactic acid under the action of two specific lactic bacteria: *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and

---

♦ Paper presented at the fifth edition of: “Colloque Franco-Roumain de Chimie Appliquée – COFrRoCA 2008”, 25 – 29 June 2008, Bacău, Romania.

*Streptococcus thermophilus*. Using the experiment programming method, the mathematical model that corresponds to the answer function (the yoghurt acidity) is obtained, allowing simulation individual or interacting effects between parameters. According to the experimental program, which was used, and the variation of parameters interval, the real optimal values of parameters can be obtained, in the initial field or not.

**Keywords:** *lactic fermentation, acidity, factorial analysis, polynomial model, technological parameters*

## INTRODUCTION

La fermentation de lait est considérée la phase principale en technologie de yaourt. Pour la fermentation du lait destiné à la fabrication du yogourt, on utilise exclusivement des bactéries thermophiles (qui aiment la chaleur), comme le *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* [6]. Leur température préférée, c'est-à-dire la température à laquelle elles déploient leur plus grande efficacité, se multiplient le plus rapidement et où leur métabolisme est le plus actif, se situe entre 35°C et 45°C. Pour que le métabolisme des bactéries dites lactiques puisse se mettre en route, le lait doit avoir la température adéquate. Après l'ensemencement, elles commencent par se multiplier en produisant de la lactase, une enzyme capable de digérer le lactose, c'est-à-dire de le dissocier en glucose et en galactose. Ces deux sucres sont ensuite partiellement transformés en acide lactique. Si cette réaction est assez rapide au début de l'incubation, elle est ensuite progressivement freinée par la teneur croissante du lait en acide lactique [2]. Si on laissait le processus se dérouler de manière incontrôlée, l'activité des bactéries lactiques finirait par s'arrêter et une partie d'entre elles mourraient. L'acide lactique issu de cette réaction influence l'état des protéines, principalement celui de la caséine. Dans la caséine à l'état natif, les charges positives et négatives à la surface de la micelle s'équilibrent et la fraction protéique reste ainsi dispersée dans le lait en formant une solution colloïdale. A mesure que le milieu devient plus acide, le nombre des protons (à charge positive) augmente. Du phosphate de calcium se sépare et, avec la modification de l'équilibre électrique, les micelles de caséine s'agglutinent, phénomène appelé aussi coagulation [3].

Sur le plan mondial fut consacré l'idée d'utilisation des certains matériaux solide poreux (argile anioniques type hydrotalcite) pour améliorer la qualité des produits acido-lactiques. Les hydrotalcites sont les hydroxydes mélangés lamellaires synthétiques avec les espaces de couche intercalaire contenant les anions échangeables et les molécules d'eau. Ces matériaux ont la propriété d'intervenir dans la cinétique de la réaction de fermentation de lait. Grâce la basicité développée par ces matériaux, se peut retarder l'influence négative de l'acide lactique dans la cinétique de fermentation du lait et accélérer la fermentation [5].

Les programmes factoriels du type  $k^n$  ont été utilisés parce qu'elles permettent l'optimisation des conditions d'obtention d'un produit en général, et permettent, dans le même temps, la corrélation entre la qualité d'un produit avec les paramètres du processus d'obtention [1, 5].

## PROTOCOLE EXPERIMENTALE

Dans cette étude ont utilisée un programme factorielle de type  $3^3$  ; les variables de la modélisation on été : l'addition d'hydrotalcite ajoutée dans la masse de lait –  $X_1$ , la température de fermentation –  $X_2$  et l'addition de culture starter utilise pour l'insémination du lait –  $X_3$ . La fonction de réponse est l'acidité du produit finit obtenu –  $Y$ . On été effectue 27 expertises dans le domaine (-1, 0, +1) (coordonnées adimensionnelles). Dans le tableau 1 sont représentée les valeurs du cette variables : minimales, maximales et medium.

*Tableau 1. Valeurs des paramètres technologiques*

No. crt.	Paramètres ( $X_i$ )	Valeur minime ( $X_i^{\min}$ )	Valeur maximum ( $X_i^{\max}$ )	$\Delta X_i$	$X_i^{\text{med}}$
1.	Addition d'hydrotalcite, g/100 mL lait	2	5	1,5	3,5
2.	Température de fermentation, °C	38	52	7	45
3.	Addition de culture starter, %	1,5	3,5	1	2,5

Avec ces résultats on peut élaborer des modèles mathématiques pour les fonctions de réponse. Apres l'élaboration des modèles mathématiques on peut faire la simulation des effets qui permet l'establishment des dépendances de critérium d'optimisation considérées en fonction de chaque paramètre défini antérieurement.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

La forme particulière de la fonction de réponse pour le programme factorielle de type  $3^3$  est la suivante :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 + a_{123}X_1X_2X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 \quad (1)$$

Ainsi, par analyse factorielle on peut obtenir le model mathématique qui décrit la fonction de réponse du critérium d'optimisation [1]; les coefficients de type  $a_i$ ,  $a_{ij}$ ,  $a_{ijk}$ , se peut calcule avec des relations mathématique empirique. Par l'application du teste « t-student » on peut éliminer des termes insignifiants du polynôme et ultérieurement, obtenir la forme optimale pour le model mathématique:

$$Y = 75,43 + 6,055X_1 + 2,055X_2 + 3X_3 - 3,55X_1X_2 - 2,55X_1X_3 - 2,63 X_2 X_3 - 6,25X^2 \quad (2)$$

### Effet des paramètres sur l'acidité de yaourt

La valeur adimensionnelle du coefficient  $a_0$  indique l'acidité de yaourt s'obtienne à une valeur rapprochée à cette valeur. Les coefficients  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  ont des valeurs positives ; ainsi les variables correspondantes  $x_1$ ,  $x_2$  et  $x_3$  ont un actionne individuelle favorable mais l'effet favorable du  $x_1$  et  $x_2$  est plus forte que l'effet du  $x_3$ .

Le coefficient  $a_{12}$  d'interaction est négative; les variables  $x_1$  et  $x_2$ , par leur interaction défavorise le processus de coagulation. Le coefficient  $a_{13}$  est positive, ainsi que le processus est influencent favorable, par interaction du  $x_1$  et  $x_2$ .

Parce que l'effet de coefficients quadratique  $x_1^2$  et  $x_3^2$  on été déterminé par le test « t-student » comme des termes insignifiants, on le pas prendre en calcules.

### Optimisation du processus

L'optimum de la fonction de réponse a été calcule avec la méthode du dérivâtes qui consiste dans l'égalisation des dérivâtes de premier grade avec zéro et ultérieurement dans la résolution des équations obtenues [1]. Pour la transformation des variables adimensionnels calculée en paramètres réels on utilise la formule mathématique suivante :

$$X_i = \Delta X_i \cdot x_i + X_i^{\text{med}} \quad (3)$$

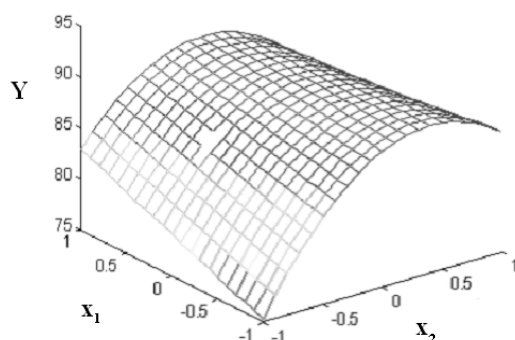
ou  $X_i$  représente les valeurs réels des paramètres,  $x_i$  les valeurs adimensionnelles des paramètres,  $\Delta X_i$  la différence entre les valeurs plus basses et les valeurs real médium des paramètres,  $X_i^{\text{med}}$  représente la valeur medium real des paramètres. Par l'application de cet algorithme au polynôme, on peut obtenir les points d'optimum pour le processus de fermentation. Ainsi, un rendement optimal de coagule s'obtienne pour un ajoutage de 3,85 g hydrotalcite/100 mL lait, 2,65 % culture starter et pour une température de fermentation de 46 °C. On peut observer que les valeurs optimales obtenues pour tout les paramètres dépassent le domaine choisi initial (tableau 1), ainsi que le domaine de variation de ceux paramètres doit être reconsidérée (la croissance de ceux).

Par l'application du teste « t-student » on peut éliminer des termes insignifiants du polynôme. Par adaptation de polynôme (2) avec le logiciel Mathlab, se peut obtenir des graphiques qui présentent les effets, en ensemble, de tous les paramètres (définis antérieurement) sur le processus de fermentation du lait et implicite sur l'acidité de coagule. Ainsi, s'obtienne trois surfaces de réponse (fig. 1-3). Il est important a préciser que des représentations graphiques offerts moins information concernant le processus mais ont l'avantage de présenter en ensemble l'effets des tout les paramètres.

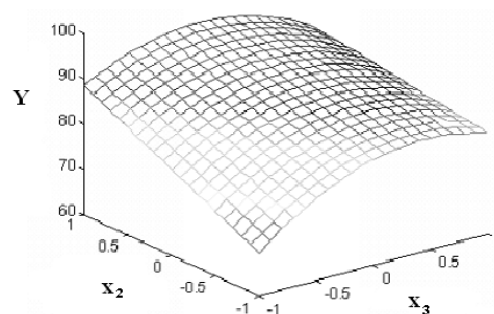
### CONCLUSIONS

L'utilisation des programmes factoriels de type  $k^n$  présent l'avantage d'une optimisation rapide et sans coûts supplémentaires. Utilisant cette programmes a été obtenus informations concernant les paramètres du processus d'obtention d'yaourt de bonne qualité.

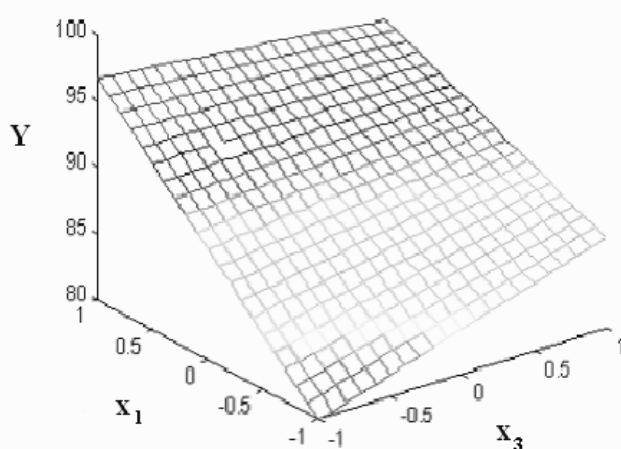
La formation de l'acide lactique, par la transformation du lactose peut inhiber la multiplication de bactéries lactique. La cause de ce processus est la présence de l'anion lactique. Dans le tempe de fermentation de lait cette l'anion lactique on peut fixer sur hydrotalcite et ainsi favorisant la multiplication des bactéries lactique.



**Figure 1.** Influence de l'addition d'hydrotalcite et de la température de fermentation sur acidité de coagule



**Figure 2.** Influence de la température de fermentation et de l'addition de culture starter sur acidité coagule



**Figure 3.** Influence d'addition d'hydrotalcite et de l'addition de culture starter sur acidité de coagule

La quantité optimale d'argile et d'agent d'insémination dépasse le domaine utilise dans le programme expérimental, par conséquent, le domaine de variation doit être reconsidérée dans le sens d'accroissement de la quantité d'argile et d'agent d'insémination ajoute. Egalement, le domaine de variation pour le température de fermentation doit être reconsidérée parce que le valeur real  $x_2$  dépasse le domaine considérée initial.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Azzouz, A: *Concepte de modelare și elemente de strategie în designul industrial* (in Romanian), Ed. Tehnica –Info, Chișinău, **2001**;
2. Chintescu, G., Grigore, Ș.: *Îndrumător pentru tehnologia produselor lactate* (in Romanian), Editura Tehnică, București, **1982**;
3. Costin, G.M.: *Produse lactate fermentate* (in Romanian), Ed. Academica, Galați, **2005**, 163-172;
4. Ginovart, M., López, D., Valls, J., Silbert, M.: Simulation modelling of bacterial growth in yoghurt, *International Journal of Food Microbiology*, **2002**, 73 (2-3), 415-425;

5. Jinescu, G., Ursu A.V., Aruş, A.V., Mareş, A.M., Nistor, D.I.: Modélisation et optimisation de processus de coagulation de lait avec des argiles basique par analyse factorielle, *Studii şi Cercetări Ştiinţifice – Chimie şi Inginerie Chimică, Biotehnologii, Industrie Alimentară*, **2006**, **VII** (3), 621-626 ;
6. Jurcoane, Ş., Săsărman, E., Lupescu, I., Roşu, A., Berehoiu Tamba, R., Banu, A., Rădoi, F. : *Tratat de biotehnologie* (in Romanian), **vol. I**, Ed. Tehnică, Bucureşti, **2004**.